



**SAVONIA**

# **Moottoripyörän dynamometrin sulautetun järjestelmän pelikäytön anturit**

**Teemu Juntunen**

Opinnäytetyö

---



## Ammattikorkeakoulututkinto

SAVONIA-AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖ  
Tiivistelmä

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Tietotekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Teemu Juntunen	
Työn nimi Moottoripyörän dynamometrin sulautetun järjestelmän pelikäytön anturit	
Päiväys 18.4.2012	Sivumäärä/Liitteet 33
Ohjaaja(t) DI Kari Eskelinen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savonia-ammattikorkeakoulu, tekniikka Kuopio, informaatiotekniikan kehitysyksikkö, Lekasteel Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön aiheena oli suunnitella, kehittää ja testata moottoripyörän dynamometrin pelikäytön anturit. Mittausjärjestelmä liitettiin inertiatyypiseen dynamometriin. Se on varustettu kiinteällä tunnetulla massapyörällä ja järjestelmä laskee tehon, mittaa kierrosluvun ja kiihtyvyyden vääntömomentin laskemista varten. Järjestelmä kehitetään Lekasteel Oy:lle.</p> <p>Kehitysalustaksi valittiin Arduino, joka on avoimen lähdekoodin mikrokontrollerikehitysalusta. Arduinon ohjelmointikieli on C. Ensimmäiseksi oli kerrattava pyörimisliikkeen fysiikkaa ja siihen liittyvät laskentakaavat. Seuraavaksi tutustuttiin Arduinon kehitysalustan käyttämiseen. Tämän jälkeen alkoi sopivien komponenttien ja sensorien etsiminen ja hankkiminen.</p> <p>Työn lopputuloksena saatiin laboratorio-oloissa toimiva prototyyppi , joka laski tarvittavat tiedot oikein.</p>	
Avainsanat Dynamometri, Arduino, sulautettu järjestelmä, mikrokontrolleri, anturi	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Information Technology			
Author(s) Teemu Juntunen			
Title of Thesis Dynamometer`s embedded system sensors for a motorcycle in a game use			
Date	18.04.2012	Pages/Appendices	33
Supervisor(s) DI Kari Eskelinen			
Client Organisation/Partners Savonia University of Applied Sciences, Lekasteel Oy			
<p>Abstract</p> <p>The agenda for the thesis was to plan, develop and test dynamometers' game-use sensors for a motorcycle. The measurement system was attached to inertia-type of dynamometer. It is equipped with a fixed mass wheel and the system calculates power, rounds per minute and acceleration in order to construct a figure for twist moment.</p> <p>Arduino, an open source code micro controller platform, was selected as a development platform. Program language for Arduino is C. System is developed for Lekasteel Oy.</p> <p>First, spin movement physics and according formulas had to be revised. Second, Arduino development platform was introduced. Finally, compatible component and sensors were searched and acquired.</p> <p>As a result, a functional prototype that calculates the needed figures in laboratory conditions was created. Due to overlapping schedule, I was unable to participate in final testing sessions.</p>			
<p>Keywords</p> <p>Dynamometer, Arduino, embedded system, micro controller, sensor</p>			



## ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö tehtiin Lekasteel Oy:lle. Työn tarkoituksena oli toteuttaa moottoripyörän dynamometrin pelikäytön anturit. Haluan kiittää opinnäytetyön ohjaajaani DI Kari Eskelistä saamistani neuvoista ja ohjauksesta. Lisäksi tahdon kiittää muita projektissa mukana olleita mahdollisuudesta työskennellä tämän projektin parissa sekä saamistani neuvoista sitä tehdessäni.

Uskon, että tämän projektin parissa työskentely on kehittänyt minua paremmaksi projektityöntekijäksi ja sulautettujen järjestelmien tekijäksi.



## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	10
2	SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT.....	11
2.1	Pelijärjestelmän ominaisuudet .....	11
2.2	Dynamometri.....	11
2.3	Lekasteel dyno.....	12
2.4	Sulautettu järjestelmä .....	13
2.5	Pelinäkymä.....	14
3	PYÖRIMISLIIKE.....	15
3.1	Pyörimisliike ja tekniikka .....	15
3.2	Mekaaninen tehonsiirto ja ajoneuvot.....	15
3.3	Pyörimisliikkeen fysikaaliset kaavat .....	15
3.3.1	Keskimääräinen ja hetkellinen kulmanopeus.....	15
3.3.2	Tasainen pyörimisliike .....	16
3.3.3	Keskimääräinen ja hetkellinen kulmakiihtyvyys .....	16
3.3.4	Tasaisesti muuttuva pyörimisliike .....	16
3.3.5	Pyörimisnopeus .....	17
3.3.6	Vääntömomentti ja teho.....	17
4	Mikrokontrolleri ja kehitysalusta.....	19
4.1	Atmel Atmega.....	19
4.2	Arduino Mega .....	19
4.3	Mikrokontrollerin ohjelmointi .....	20
4.4	Arduinon tekniset tiedot.....	21
5	KOMPONENTIT .....	22
5.1	Optinen anturi .....	22
5.2	Kulma-anturi.....	23
5.3	Muut dynamometrin anturit .....	25
6	TESTIT.....	26
6.1	Optisen anturin testaaminen .....	26
6.2	Kulma-anturin testaaminen .....	27
7	OHJELMA.....	29
8	YHTEENVETO.....	32
	LÄHTEET .....	33





## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyö oli osa Lekasteel dyno -projektia, jossa kehitettiin moottoripyörien testaukseen sovelias kuormituslaitteisto eli dynamometri. Opinnäytetyöni aiheena oli dynamometrin yhteyteen liitettävän ja pelikäyttöön soveliaan osajärjestelmän kehittäminen. Tavoitteena oli järjestelmä, joka mahdollistaa pelisovelluksen esittelyn moottoripyörämessuilla Helsingissä helmikuun alussa 2012. Järjestelmä kehitettiin Lekasteel Oy:lle

Opinnäytetyötä tehdessä täytyi tutustua moniin uusiin asioihin ja kerrata vanhaa. Uutena asiana tuli Arduinon käyttö ja sen ohjelmointi. Lisäksi useat eri elektroniikkakomponentit tulivat minulle tutuksi.

Projektissa oli minun lisäksi kolme muuta opiskelijaa, joten yhteistyö heidän kanssaan auttoi projektin valmistumisessa.

## 2 SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT

Suunnittelun tavoitteena oli kehittää moottoripyörän dynamometrin yhteyteen peliliitäntä. Järjestelmä koostuu tietoa mittaavista antureista, antureiden luennasta ja tiedonkäsittelystä huolehtivasta mikroprosessorista sekä PC-liitännästä. Keskeisenä tavoitteena oli kehittää toimiva prototyyppi, joka jatkossa voisi toimia tuotteistamisen perustana.

### 2.1 Pelijärjestelmän ominaisuudet

Sulautettu mikroprosessorijärjestelmä toimii moottoripyörän dynamometrin instrumentoinnin ytimenä. Optohaarukan avulla mitataan dynamometrin telan pyörimisnopeus, jonka avulla lasketaan kiihtyvyys, vääntömomentti ja teho. Muita mitattavia ja laskettavia suureita ovat jarrutusteho, moottorin kierrosnopeus, kallistuskulma ja lambda-arvo.

Peliä voidaan ajaa joko yhdellä moottoripyörällä tai niin, että kaksi pyörää kilpailee samanaikaisesti toisiaan vastaan. Erilaisten kilparatojen simulointiin suunniteltiin käytettäväksi hydraulista massapyörän jarrutusta. Moottoripyörien eteen valkokankaalle heijastuu todenmukainen ratanäkymä ja pelijärjestelmä mittaa reaaliajassa pyörän kallistuskulmaa ja nopeutta sekä lähettää tämän tiedon pelille sekä säätää tarvittavaa jarrutusta.

### 2.2 Dynamometri

Dynamometri on laite, jolla voidaan mitata moottorin tuottamaa vääntövoimaa (kuva 1). Järjestelmä liitetään inertiatyyppiiseen dynamometriin. Se on varustettu kiinteällä tunnetulla massapyörällä. Moottori testataan tyhjäkäynnistä maksimikierrosluvulle asti ja tulokset ilmoitetaan graafisella kuvalla järjestelmään kytketyllä PC:llä.

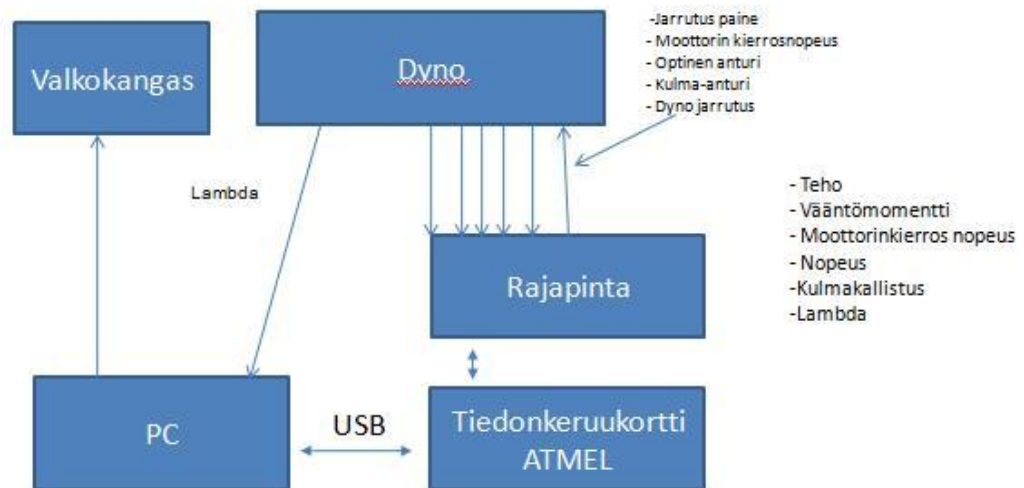


KUVA 1. Moottoripyörän dynamometri ([www.huolto-kaksikko.com](http://www.huolto-kaksikko.com))

### 2.3 Lekasteel dyno

Lekasteel dynossa dynamometriltä menee tieto tiedonkeruukortille ja sieltä edelleen PC:lle. PC:ltä heijastetaan videoprojektorin kautta pelinäkymä valkokankaalle. Seuraavassa kuviossa (KUVIO 1) on esitetty Lekasteel dyno -projekti pääpiirteittäin.

# Lekasteel dyno



KUVIO 1. Lekasteel Dyno

## 2.4 Sulautettu järjestelmä

Sulautetuksi järjestelmäksi kutsutaan sellaisia laitteita, joissa mikrotietokone on osana jotakin elektroniikkajärjestelmää. Järjestelmät eivät ole yleiskäyttöisiä, vaan niitä käytetään johonkin tiettyyn erityistarkoitukseen. Näiden laitteiden muisti jakaantuu yleensä fyysisesti kahteen osaan: käyttömuistiin (Data Memory) ja ohjelmamuistiin (Program Memory). Koska nämä laitteet ovat erikoistuneet vain jonkin tietyn, ennalta hyvinkin tarkkaan ennustettavan tehtävän suorittamiseen, niiden tarvitsema ohjelma on tallennettu kiinteään ROM-muistiin (Read Only Memory)

Sulautettuja järjestelmiä on nykyään kaikkialla mitä ei kuitenkaan aina edes huomaa. Kaukosäätimet, pankkiautomaatit ja autot toimivat mikroprosessorien avulla. Sulautettujen järjestelmien käyttö lisääntyy tulevaisuudessa, kun uusia käyttökohteita ja sovelluksia keksitään.

## 2.5 Pelinäkymä

Moottoripyörien eteen valkokankaalle heijastuu todenmukainen ratanäkymä (kuva 2) ja pelijärjestelmä mittaa reaaliajassa pyörän kallistuskulmaa ja nopeutta sekä lähettää tämän tiedon pelille ja säättää tarvittavaa jarrutusta. Mittarista näkyy nopeus ja kierrosnopeus.



KUVA 2. Järjestelmän pelinäkymä

### 3 PYÖRIMISLIIKE

#### 3.1 Pyörimisliike ja tekniikka

Polkupyörä, auto, moottoripyörä, pesukone, betonimylly, voimalaitokset ja karusellit sekä lukemattomat muut koneet ja laitteet sisältävät pyörimisliikkeen teknisiä sovelluksia. Sähkomoottorin ja generaattorin toiminnan ymmärtäminen edellyttää pyörimisliikkeen peruskäsitteiden tuntemista.

#### 3.2 Mekaaninen tehonsiirto ja ajoneuvot

Mekaaniset tehonsiirtojärjestelmät sisältävät pyöriviä osia, kuten hihnapyöriä ja hammasrattaita. Pyörimisliikkeen muutoksia voidaan tasata suhteellisen raskaan vauhtipyörän avulla, joka varastoi energiaa jaksollisesti toimivan työtahdin aikana ja luovuttaa sitä muiden tahtien aikana. Vauhtipyörä pienentää pyörimisnopeuden muutoksia myös akseliin kohdistuvan kuormituksen vaihdellessa.

Pyörillä liikkuvan ajoneuvon hallinta perustuu vetävien pyörien ja tienpinnan väliseen kitkaan. Pyörimisliikkeen lakien avulla voidaan ymmärtää moottoripyörän yllättävä käyttäytyminen tilanteessa, jossa ajaja tekee nopean ohjausliikkeen.

#### 3.3 Pyörimisliikkeen fysikaaliset kaavat

##### 3.3.1 Keskimääräinen ja hetkellinen kulmanopeus

Sitä, kuinka nopeasti esim. pyörä keskimäärin pyörii tietyllä aikavälillä ( $t_1$ ,  $t_2$ ) positiiviseen suuntaan, kuvataan keskimääräisen kulmanopeuden  $\omega_k$  avulla:

$$\omega_k = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}.$$

Tässä  $\Delta t = t_2 - t_1$  on tarkasteltavan aikavälin pituus. Valitsemalla aikaväli hyvin lyhyeksi saadaan hetkellinen kulmanopeus  $\omega$ . Sekä keskimääräisen ja hetkellisen kulmanopeuden yksikkö on 1/s. Hetkellinen kulmanopeus on käyrän  $\varphi = \varphi(t)$  tangentin fysikaalinen kulmakerroin, ja se voidaan määrittää graafisella derivoinnilla. Kulmasiirtymä saadaan kuvaajasta  $\omega = \omega(t)$  graafisella integroinnilla.

### 3.3.2 Tasainen pyörimisliike

Jos pyörän pyörimä suunta ja nopeus pysyvät muuttumattomina, ei pyörän kulmanopeus  $\omega$  muutu. Pyöriminen on silloin tasaista. Pyörän kulmasiirtynä aikavälillä  $\Delta t$  on silloin  $\Delta \varphi = \omega \Delta t$ .

### 3.3.3 Keskimääräinen ja hetkellinen kulmakiihtyvyys

Pyörän pyörimisen nopeutuessa pyörän kulmanopeus kasvaa. Keskimääräinen kulmakiihtyvyys ilmaisee, kuinka ripeästi kulmanopeus keskimäärin muuttuu tietyllä aikavälillä ( $t_1, t_2$ ):

$$\alpha_k = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}.$$

Tässä  $\Delta \omega = \omega_2 - \omega_1$  on kulmanopeuden muutos ja  $\Delta t = t_2 - t_1$  tarkasteltavan aikavälin pituus.

Kun aikaväli valitaan hyvin lyhyeksi, saadaan hetkellinen kulmakiihtyvyys  $\alpha$ . Sekä keskimääräisen että hetkellisen kulmakiihtyvyyden yksikkö on  $1/s^2$ . Hetkellinen kulmakiihtyvyys on kuvaajan  $\omega = \omega(t)$  tangentin fysikaalinen kulmakerroin, ja se voidaan siis määrittää graafisella derivoinnilla. Kulmanopeuden muutos saadaan kuvaajasta  $\alpha = \alpha(t)$  graafisella integroinnilla.

### 3.3.4 Tasaisesti muuttuva pyörimisliike

Jos pyörän kulmakiihtyvyys  $\alpha$  on vakio, on pyörimisliike tasaisesti muuttuvaa. Kulmanopeus on hetkellä  $t$  on silloin

$$\omega = \omega_0 + \alpha t,$$

jossa  $\omega_0$  on kulmanopeus alussa.

Keskimääräinen kulmanopeus on aikavälillä  $(0, t)$  tasaisesti muuttuvassa pyörimisliikkeessä on yhtä suuri kuin kulmanopeuden alku- ja loppuarvon keskiarvo,

$$\omega_k = \frac{1}{2}(\omega_0 + \omega).$$

Kulmasiirtymä kyseisellä aikavälillä voidaan määrittää keskimääräisen kulmanopeuden ja ajan tulona. Se saadaan lausekkeesta



$$\Delta\varphi = \omega_0 t + \frac{1}{2} \alpha t^2.$$

### 3.3.5 Pyörimisnopeus

Tekniikassa käytetään usein kulmanopeuden asemasta suuretta, joka ilmaisee kappaleen pyörimien kierrosten lukumäärän aikayksikköä kohti. Keskimääräinen pyörimisnopeus  $n_k$  on yhtä suuri kuin kierrosten lukumäärä jaettuna liikkeeseen kuluneen aikavälin pituudella. Jos aikaväli valitaan hyvin lyhyeksi, saadaan hetkellinen pyörimisnopeus  $n$ . Koska yhtä kierrosta vastaa  $2\pi$ :n suuruinen kulmasiirtymä, voidaan keskimääräinen pyörimisnopeus tietyllä aikavälillä ilmaista kulmanopeuden avulla seuraavasti:

$$n_k = \frac{\omega_k}{2\pi}.$$

Hetkellisen pyörimis- ja kulmanopeuden välinen yhteys on vastaavasti

$$n = \frac{\omega}{2\pi}.$$

Pyörimisnopeutta kutsutaan usein kierrostaajuudeksi. Sen yksikkö on 1/s kuten kulmanopeudenkin. Tekniikassa käytetään sekaannuksien välttämiseksi merkintää  $r/s$ , jossa  $r$  tarkoittaa kierrosta. Jos taas halutaan korostaa, että kyseessä on nimenomaan kulmanopeus, voidaan yksiköksi kirjoittaa  $rad/s$ , jossa  $rad$  tarkoittaa radiaania. Kone- ja moottoritekniikassa esiintyvä RPM tarkoittaa kierrosten lukumäärää minuuttia kohti – siis  $RMP = r/min$ .

### 3.3.6 Vääntömomentti ja teho

Vääntömomentti saadaan laskettua hitausmomentin  $J$  ja kulmakihtiyyden  $\alpha$  avulla kaavasta:

$$T = J\alpha$$

Ja teho saadaan vastaavasti laskettua vääntömomentin ja kulmanopeuden avulla:

$$P = T\omega$$



## 4 Mikrokontrolleri ja kehitysalusta

Dynamometrin sulautetun järjestelmän kehityksessä käytettiin Arduinon valmistamaa Arduino Mega -kehitysalustaa. Se valittiin, koska se on melko edullinen ja siinä on Atmelin Atmega-sarjan mikrokontrolleri, joka on tunnettu monipuolisuudestaan.

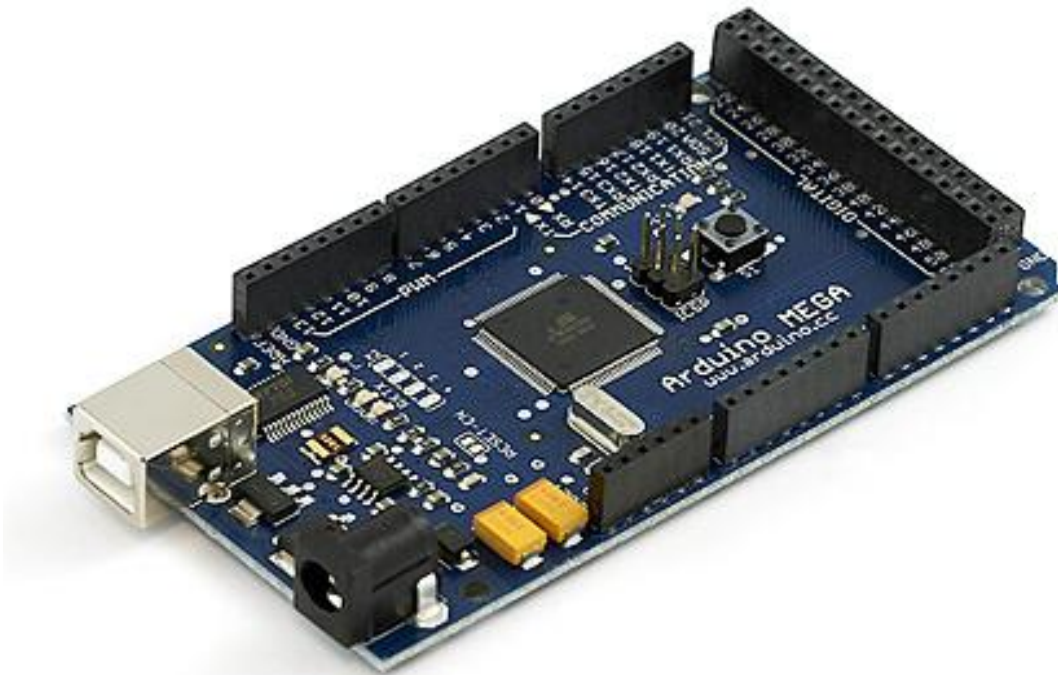
### 4.1 Atmel Atmega

Atmelin Atmega-sarjan mikrokontrollerit ovat 8-bittisiä ja käyttävät RISC-arkkitehtuuria. Ne ovat tehokkaita ja vähän tehoa kuluttavia. Niissä on laaja käyttöjännite- ja kellotaajuusalue. Lisäksi niissä on paljon erilaisia toimintoja, joita voidaan käyttää tarvittaessa. Ohjelmoitava flash-muisti on 128 Kt. (Atmel 2012.)

### 4.2 Arduino Mega

Avoimen lähdekoodin periaatteella kehitetty mikrokontrollerialusta Arduino on monipuolinen ja kiinnostava, ja sillä on mahdollista toteuttaa vaativia sekä että yksinkertaisia asennuksia. Arduino-alustat ovat yleisesti ottaen helppoja ohjelmoitavia, sillä useista versioissa on FTDI:n USB-sarjajohdonpiiri. Erillistä ohjelmointikaapelia (esim. ICSP) ei tarvita, joten ainoa investointi Arduino-levyn lisäksi on USB-kaapeli. Arduino-ympäristö soveltuu muiltakin osin aloittelijoille. Koko Arduino-projektin idea on ollut helppokäyttöisyys sekä koodin ja ohjeiden esteetön jakaminen.

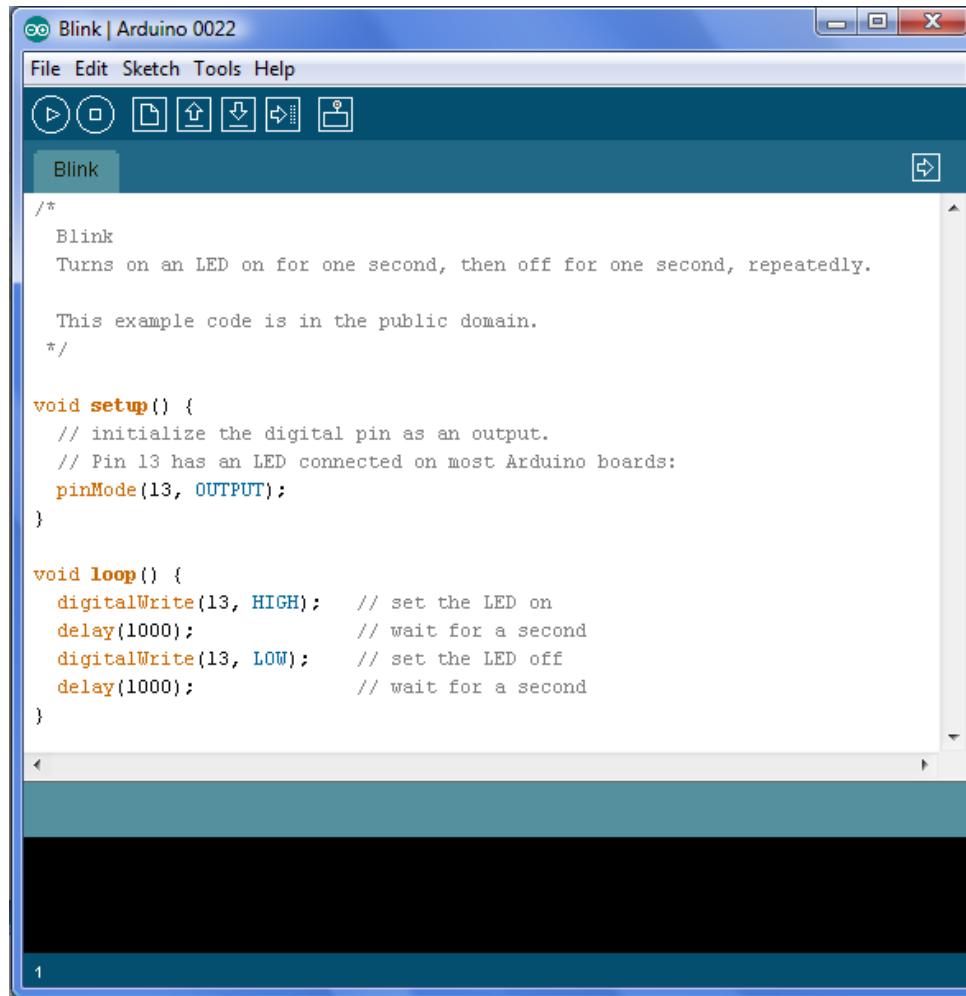
Valmista koodia löytyykin paljon, ja mikäli kehittäjä törmää ylitsepääsemättömään ongelmaan, apua voi aina kysyä keskustelupalstoilta. Arduinon sivuilta löytyy kaikkien avuksi kasattu Playground-osio, johon käyttäjät voivat postittaa omia koodinpätkiä ja ohjeitaan. Arduino-ohjelmointialustojen ytiminä ovat Atmelin AVR-mikrokontrollerit. Eri alustoilla käytetään eri mikrokontrollereita, mutta yhteistä kaikille variaatioille on helppokäyttöisyys ja taattu yhteensopivuus ohjelmointiympäristön kanssa (kuva 3). (Arduino 2012.)



KUVA3. Kuva Arduino Megasta

### 4.3 Mikrokontrollerin ohjelmointi

Arduinon ohjelmointiin käytetään valmista työkalua, joka on saatavilla Windows-, Linux- ja Mac OS X- käyttöjärjestelmille (kuva 4). Arduino IDE:n avulla on mahdollista käyttää useita valmiita funktioita, joilla pääsee helposti alkuun. Asioita ei tarvitse tehdä rekisteritasolla, mikä helpottaa selvästi aloittelijan alkuun pääsyä. Ohjelmointi tehdään C-kielellä, mutta myös konekielisten käskyjen piilottaminen C-koodin sekaan on mahdollista.



#### 4.4 Arduinon tekniset tiedot

Arduinosta löytyy paljon erilaisia teknisiä ominaisuuksia, joten se soveltuu hyvin vaativaankin käyttöön.

- Mikrokontrollerikehitysalusta
- Mikrokontrolleri Atmel ATmega1280
- Toimintajännite 5 V
- Suositeltu sisääntulojännite ulkoista virransyöttöä käytettäessä 7 – 12 V
- 54 digitaalista I/O-pinniä, joista 14 tukee PWM-ulostuloa
- 16 analogista sisääntuloa (ADC)
- 128 kilotavua flash-muistia, joista neljä kilotavua varattu Arduino-bootloaderille
- SPRAM 8 kilotavua
- EEPROM 4 kilotavu
- Kellotaajuus 16 MHz

## 5 KOMPONENTIT

Dynamometrin sulautetun järjestelmän tekemiseen tarvitaan paljon elektronisia komponentteja mittaamaan ja laskemaan erilaisia arvoja. Tärkeimmät ovat optinen anturi ja kulma-anturi.

### 5.1 Optinen anturi

Optisten antureiden toiminta perustuu siihen, että tunnistettava kappale havaitaan sen anturin valonsäteeseen aiheuttamien muutosten perusteella. Optiset anturit voidaan jakaa neljään eri periaatteella toimivaan luokkaan: Vastaanotinperiaate, lähetin-vastaanotinperiaate, suoraan heijastava periaate ja V-heijastava periaate. Tässä opinnäytetyössä käytettiin lähetin-vastaanotinperiaatteella toimivaa optista anturia. Se toimii niin, että kappale katkaisee anturin lähettimen ja vastaanottimen välisen valonsäteen. Ympäristössä heijastuvan valon aiheuttamien häiriöiden välttämiseksi optisten antureiden valaisimet ja vastaanottimet toimivat tietyllä aallonpituudelle moduloidulla infrapunavalolla. Optiset anturit pystyvät tunnistamaan kappaleen materiaalista riippumatta, kunhan kappale vaikuttaa valonsäteeseen valitun periaatteen vaatimalla tavalla.

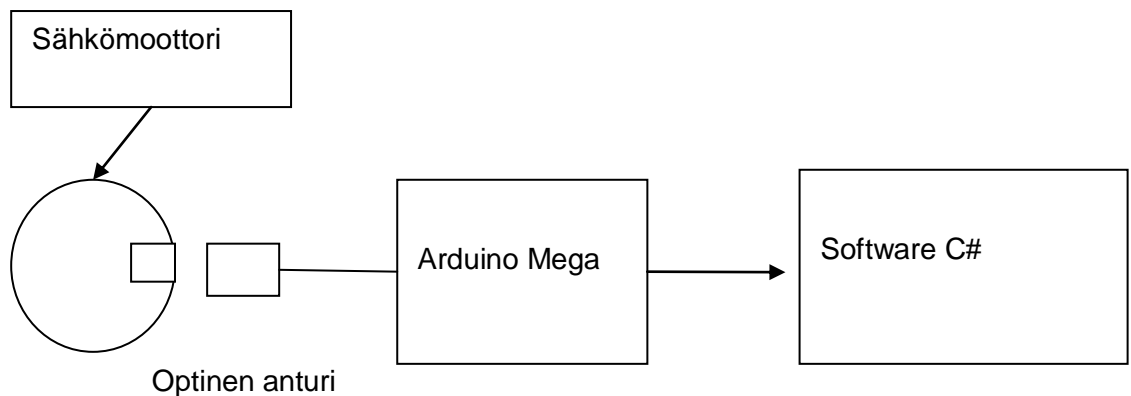
Tässä työssä optisena anturina käytettiin edullista Sharpin GPI53HR optista anturia (kuva 5).



KUVA 5. Sharp GPI53HR

Optista anturia käytetään moottoripyörän dynamometrissa laskemaan pyörimisnopeutta, tehoa ja vääntömomenttia. Optinen anturi mittaa pyörivän teräskiekon pyörimisnopeutta ja kiekko on yhteydessä moottoripyörän todelliseen nopeuteen. Teräskiekkoon on tehty sopiva kolo optista anturia varten (kuvio 2).

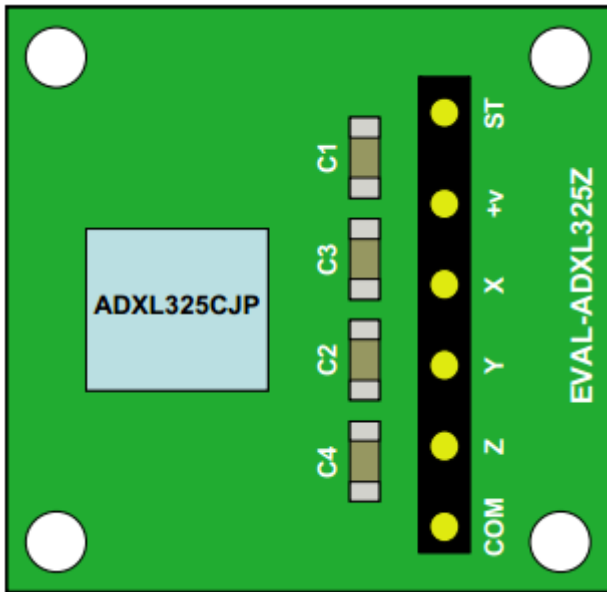
Pelikäyttöä varten optinen anturi on todella suuressa roolissa, koska pelissä moottoripyörä liikkuu todellisuutta vastaavalla nopeudella optisen anturin mitatessa tämän nopeuden.



KUVIO 2. Optisen sensorin kaaviollinen kuva.

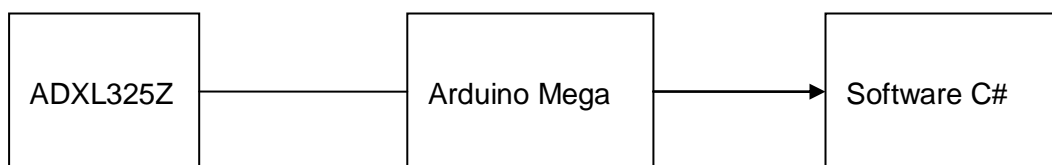
## 5.2 Kulma-anturi

Kulma-antureilla mitataan tiettyä kulmaa esim. kallistuskulmaa. Kulma-antureina käytetään potentiometriä, induktiivisiä kulma-antureita, magneettisia kulma-antureita, optisia kulma-antureita, nokkapyörävaihteistoja ja kiihtyvyysantureita. Tässä työssä kulma-anturina käytettiin kiihtyvyysanturia Three-axis Accelometer EVAL-ADXL325Z (kuva 6). Kiihtyvyysanturia käytetään paljon peliohjaimissa ja puhelimissa, koska se pystyy määrittämään liikkeen kolmiulotteisesti.



KUVA 6. EVAL-ADXL325Z kiihtyvyyssanturi

Tässä työssä ei kuitenkaan tarvittu kolmiulotteisuutta vaan kaksiulotteisuutta, koska moottoripyörä pystyy kääntymään vain oikealta tai vasemmalle. Pelikäytön kannalta kulma-anturilla on myös todella tärkeä rooli, koska moottoripyörä kääntyilee pelissä sen mukaan miten paljon sitä kallistaa oikealle tai vasemmalle.



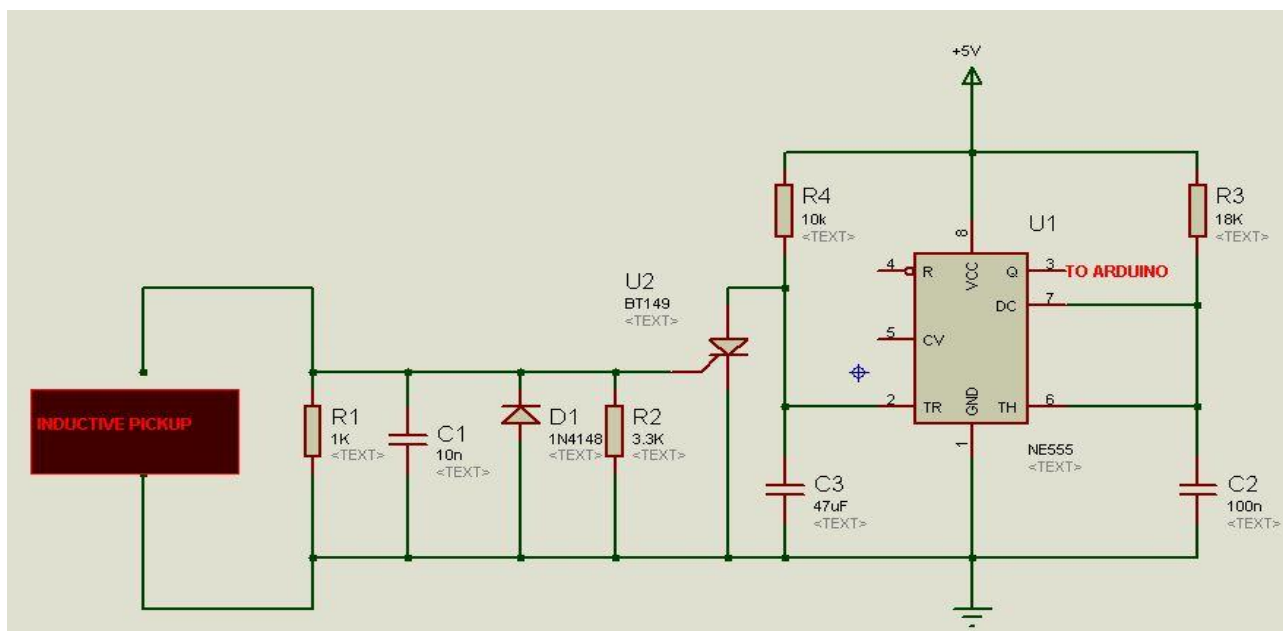
KUVIO 3. Kulma-anturin kaaviollinen kuva.



### 5.3 Muut dynamometrin anturit

Lambda-anturi on happitunnistin, joka sijaitsee pakoputkessa. Se mittaa pakokaasun jäännöshapen määrää ja välittää siitä tietoa moottoriohjauksjärjestelmä, joka osaa muuttaa ilman ja bensiinin seoksen moottorille sopivaksi. Se onkin yksi keskeisimmistä moottoriohjauksjärjestelmän osista. Se parantaa moottorin hyötysuhdetta. Järjestelmässä anturin ulostulo analoginen 0-5V. Se on kalibroitu antamaan tarkan seossuhteen. Optimaalinen seossuhde on 14,7 ja puhtaassa ilmassa se seossuhde on 20,8.

Moottoripyörän moottorin kierrosnopeus mitataan erillisen elektroniikka kytkennän avulla (kuva 7) .



KUVA7. Moottorin RMP kytkentäkaavio

## 6 TESTIT

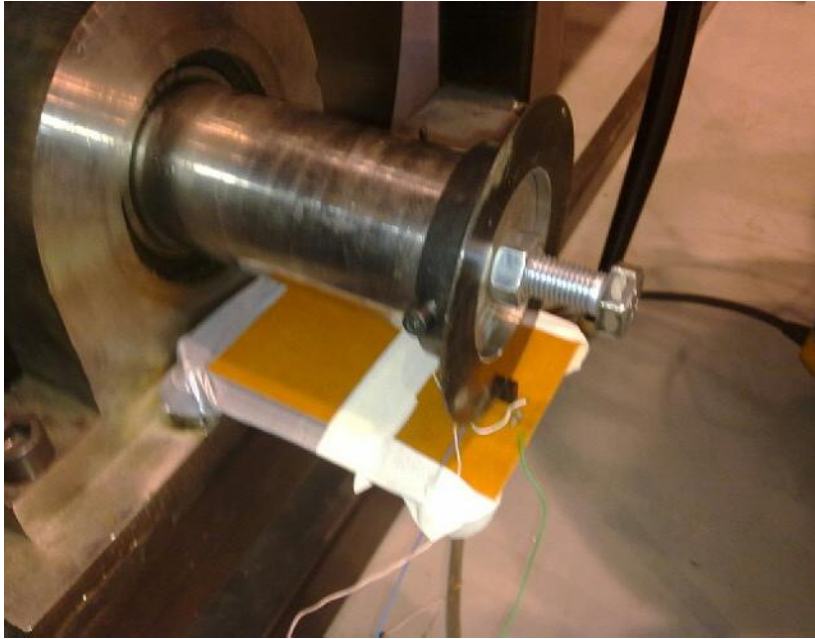
Tavoitteena oli toimiva pelikäyttö, mikä edellytti kaikkien antureiden ja ohjelmien perusteellista testaamista. Työn edistyessä selvisi, että testausmenetelmien kehittämiseen ja varsinaisiin testauksiin kului 70–80 % projektin vaatimasta työajasta.

### 6.1 Optisen anturin testaaminen

Ensimmäiseksi rakennettiin sähkömoottorilla toimiva CD-levyn pyörittäjä optiselle anturille, sen avulla pystyi simuloimaan kiekon pyörimistä. CD-levy tuli maalata mustaksi ja siihen tuli tehdä sopiva kolo, että se toimisi kunnolla optisen anturin kanssa. Sen signaalin toimivuutta testattiin oskilloskoopin avulla. Optisesta anturista saatiin signaalia, mutta CD-levy ei pyörinyt tasaisesti, koska sen kiinnike ei ollut tarpeeksi hyvä ja vakaa. Myös CD-levyn pyörimisnopeutta oli vaikea säädellä sähkömoottorilla. Tällä testauksella saatiin kuitenkin testattua ohjelmiston ja optisen anturin toimivuus hyvin.

Seuraavaksi testejä alettiin tehdä funktiogeneraattorin avulla, jonka avulla saatiin sähkömoottorin kanssa aiheutuneet ongelmat pois. Funktiogeneraattorilla saatiin simuloitua hyvin erilaisia nopeuksia ja kiihtyvyyksiä. Tällä tavoin saatiin testattua hyvin ohjelmiston laskentojen paikkansapitävyys.

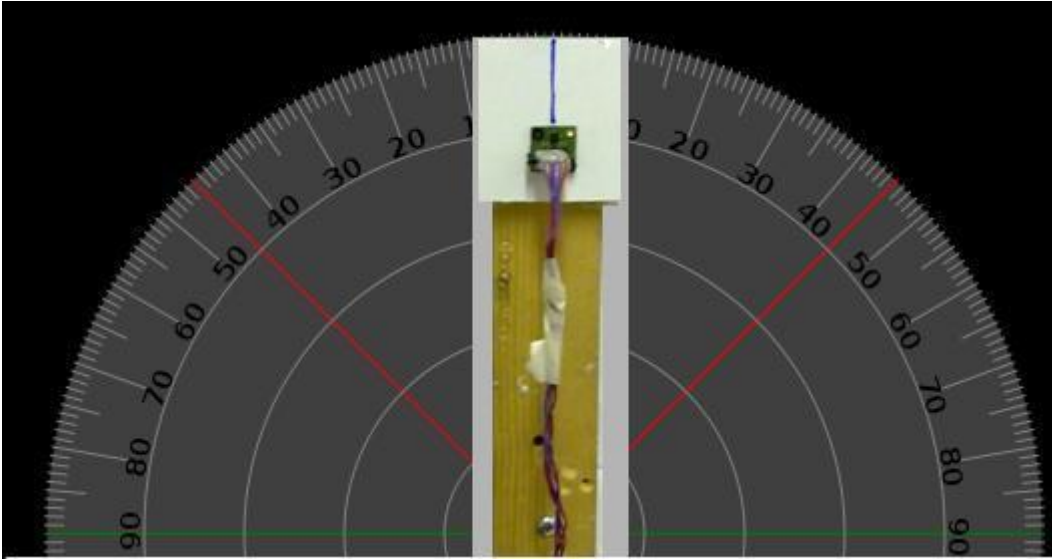
Optinen anturi saatiin melko nopeasti hyvin toimivaksi ja varmaksi. Myös testit todellisessa ympäristössä toimivat hyvin (kuva 8).



KUVA 8. Optisen anturin todellinen testausilanne

## 6.2 Kulma-anturin testaaminen

Kulma-anturille tehtiin testausalusta (kuva 9), johon tehtiin astetaulukko. Liikuttamalla anturia tiettyihin kulma-asteihin se saatiin konfiguroitua ohjelmistoon siten, että se ilmoitti kallistuessaan kallistuskulman asteina. Ongelmia oli siinä että, konfigurointi tuli tehdä lähes joka kerta, kun kulma-anturia alkoi käyttää, etenkin silloin kun käytti eri Arduinoa. Testit onnistuivat hyvin laboratoriossa, mutta todellisessa testitilanteessa kulma-anturi oli ottanut liikaa häiriötä moottoripyörästä, joten se on jouduttu vaihtamaan potentiometriin.



KUVA 9. Kulma-anturin testausta

## 7 OHJELMA

Optisen anturin lähtö on digitaalinen. Optisen anturin ulostulo luetaan Arduinon keskeytyksen kanssa. Arduinolla on valmiita funktioita pulssiantureiden lukemista varten.

Kulma-anturin ulostulot ovat analogisia. Anturin ulostulot on rajattu ja ne antavat kiihtyvyyssarvoja, jotka on muutettava asteiksi.

//Kulma-anturin ohjelma. Ohjelma muuttaa anturin antamat arvot asteiksi kallistuessaan.

```
const int xPin = 0; //Analoginen pinni 0
const int yPin = 1; //Analoginen pinni 1
```

```
// Minimi ja maksimiarvot jotka saatiin testauksesta
// asteiden konfigurointia varten
int minVal = 265; //265 = -90 astetta
int maxVal = 402; //402 = +90 astetta
```

```
// Laskemiseen tarvittavat muuttujat
double x;
double y;
```

```
void setup(){
  Serial.begin(9600); //Sarjaportin nopeus
}
```

```
void loop(){

  //Lukee analogisen arvon kulma-anturista
  int xRead = analogRead(xPin);
  int yRead = analogRead(yPin);
```

```
//Arvot muutetaan asteiksi
int xAng = map(xRead, minVal, maxVal, -90, 90);
int yAng = map(yRead, minVal, maxVal, -90, 90);

//Ulostulon tulostus, tulostaa halutut arvot
Serial.print("x: ");
Serial.print(x);
Serial.print(" | y: ");
Serial.print(y);

delay(100); //Tulostus nopeus, kuinka nopeasti tulokset tulevat näytölle
}
```



## 8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön lopputuloksena saatiin toimivat anturit moottoripyörän dynamometrin sulautettuun järjestelmään, jotka mittasivat ja laskivat arvot oikein laboratorio-oloissa. Opinnäytetyön aikana järjestelmää testattiin hieman todellisissa olosuhteissa, mutta laajemmat ja lopulliset testaukset jäivät minulta väliin aikataulun takia.

Tätä opinnäytetyötä tehdessä täytyi tutustua moniin uusiin asioihin sulautetuissa järjestelmissä, ohjelmoinnissa ja elektroniikassa. Suurin uusi asia oli Arduinon ja sen kehitysalustan käyttö. Onneksi Internetissä on paljon hyviä keskustelupalstoja ja esimerkkejä, joiden avulla pääsin melko helposti ja nopeasti sisään Arduinon käyttöön. Myös projektityöskentely tällä tasolla oli minulle uutta, koska koulun projektikurssit ovat olleet vaatimattomia ja lyhyitä tähän verrattuna.

Ongelmia opinnäytetyössä tuotti se että projekti muuttui koko ajan ja lisää vaatimuksia tuli koko ajan enemmän. Myös opinnäytetyöhön aikataulutus oli suunniteltu huonosti.

Opinnäytetyön tekeminen oli kuitenkin hyvin mielenkiintoista ja opetti minua todella paljon. Sulautettujen järjestelmien suunnittelua ja tekoa tuli oppi opinnäytetyön ansiosta. Myös tuotekehityksen vaikeudet ja haasteet tulivat selväksi tämän opinnäytetyön kautta.



## LÄHTEET

Arduino. www-sivu. [Viitattu 12.01.2012] Saatavissa:  
<http://www.arduino.cc>

Atmel. www-sivu. [Viitattu 16.01.2012] Saatavissa:  
<http://www.atmel.com>

Huolto-Kaksikko. Dynamometri. www.sivu. Saatavissa:  
<http://www.huolto-kaksikko.com/index.php?id=5>

Koskinen, J. 2004. *Mikrotietokonetekniikka sulautetut järjestelmät*. 1.painos. Helsinki; Kustannusosakeyhtiö Otava

Mäkelä, M & Soininen, L & Tuomola, S & Öistämö, J. 2005  
*Tekniikan kaavasto*. 5. painos. Tampere; Tammertekniikka.

Suvanto, J. 2003. *Tekniikan fysiikka* 1. 1.-2. painos. Järvenpää. Edita.

Valokuvat. Juntunen. T. 2011

